

1.3. Campanha CLIMA (Inverno, 1997)

Esta campanha decorreu entre 6 e 16 de Dezembro, em condições de Inverno típico. Foram ocupadas 120 estações, que atingiram a profundidade máxima de 1500m, distribuídas por 10 secções perpendiculares à costa (Fig. IV-22). O cruzeiro teve início a Sul do rio Douro e terminou frente ao rio Minho.

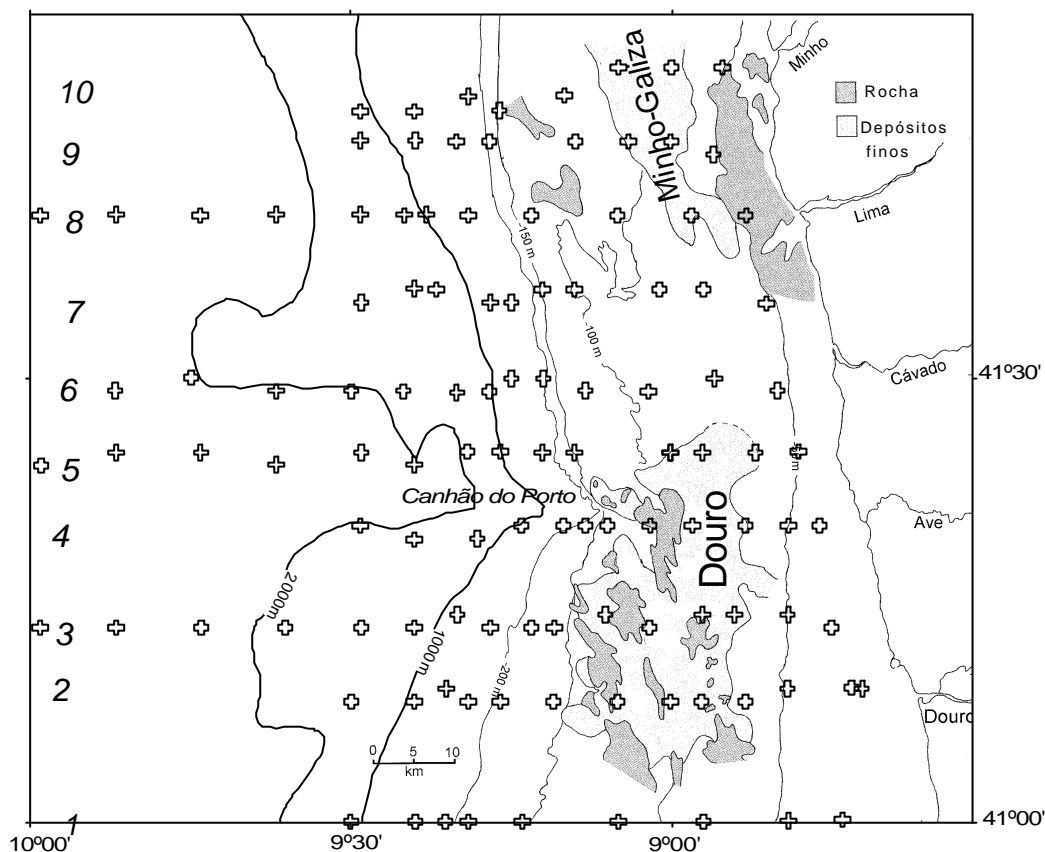


Figura IV-22. Mapa da localização das estações hidrológicas (cruzes), realizadas durante o cruzeiro Clima (6-16 de Dezembro). Delimitação dos depósitos finos segundo Drago (1995).

1.3.1. Dados hidrológicos

O débito fluvial na semana anterior ao cruzeiro foi elevado, com valores acima da média (fig.IV-23). Os meses precedentes, Outubro e Novembro, foram particularmente húmidos nesta região. O rio Douro apresentou valores superiores a $900\text{m}^3/\text{s}$ (caudal médio anual de $710\text{ m}^3/\text{s}$), sendo a média de $1073,4\text{m}^3/\text{s}$ (Est. Crestuma-Lever).

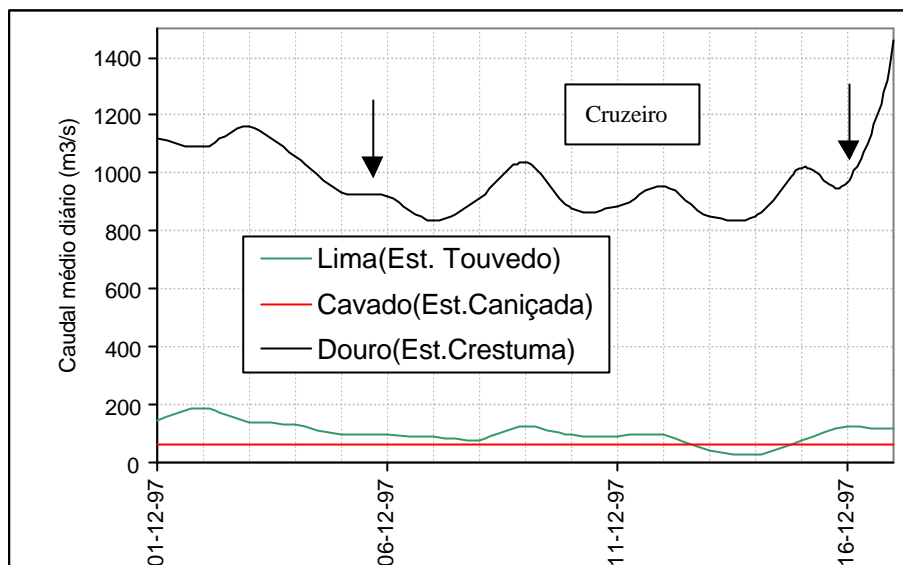


Figura IV-23. Caudais dos principais rios minhotos, para a semana anterior ao cruzeiro e para o período em que decorreu a campanha CLIMA 97 (Fonte CPPE).

Os rios Lima e Cávado apresentaram valores médios de caudal da ordem dos $142\text{m}^3/\text{s}$ (superior ao caudal médio anual determinado para o período de 1971/72 a 1988/89, de cerca de $51,3\text{m}^3/\text{s}$) e $64\text{m}^3/\text{s}$ (semelhante ao caudal médio anual determinado para o período de 1978/79 a 1988/89, de cerca de $74\text{m}^3/\text{s}$), respectivamente.

O cruzeiro iniciou-se em período de marés mortas, terminando em regime de marés vivas (Lua Cheia no dia 14 de Dezembro).

1.3.2. Dados climáticos

Durante o cruzeiro CLIMA 97 não ocorreram eventos extremos, podendo o período de realização do mesmo ser considerado uma situação de inverno moderado. Pelo contrário, nas semanas que o antecederam ocorreram temporais a que se associaram precipitações elevadas, bem evidenciados pelos caudais observados (fig. IV-23).

A ondulação nos primeiros 5 dias do cruzeiro variou entre 2 e 3m, chegando a atingir pontualmente os 4m, com rumo predominante de W. Nos últimos dias, a ondulação foi sempre inferior a 2m, com direcção predominante NW-W (Fig.IV-24). Tal como a ondulação, o vento apresentou-se variável, com rajadas fortes do quadrante Sul (velocidade superior a 20 km/h) nos primeiros dias do cruzeiro, rodando posteriormente para N-NE, e novamente para SE nos últimos dias do cruzeiro (13-14 de Novembro).

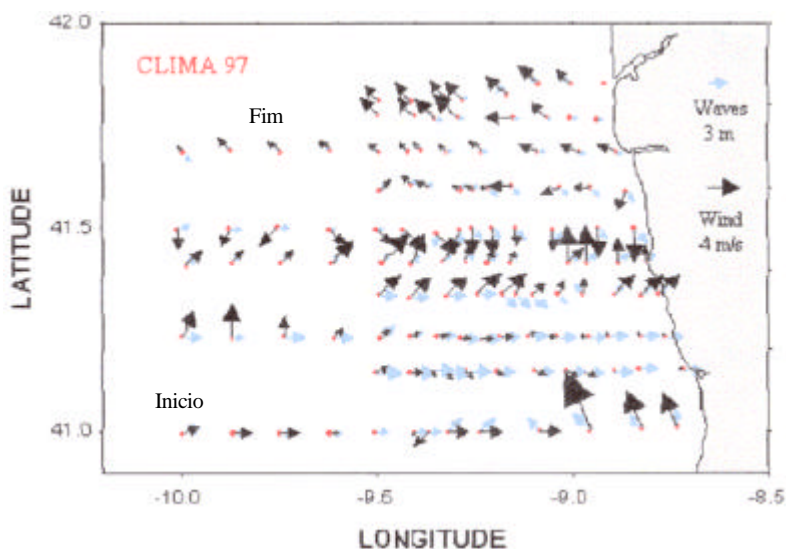


Figura IV-24. Estações hidrográficas do cruzeiro CLIMA (6-14 de Dezembro) e as observações de vento e onda em cada estação (Vitorino, 1998).

1.3.3. Diagramas TS de superfície

Durante o cruzeiro foram detectadas as seguintes massas de água (fig.IV-25A):

- I. uma massa de água pouco salina ($S < 29,5$) e com temperaturas abaixo dos 15°C na vizinhança da desembocadura do rio Ave;
- II. uma massa de água costeira temperada ($14,8 < T < 16,1$) e com salinidade compreendida entre 33,0 e 35,0, que cobria o resto da plataforma interna e parte da plataforma média, resultando da mistura das águas estuarinas com as oceânicas;
- III. uma massa de água com características marinhas, mais quente ($T > 16^{\circ}$) e com salinidades superiores a 35,0.

1.3.4. Diagramas TS de fundo

Perto do fundo, e junto à costa era possível identificar uma massa de água com características semelhantes à massa de água III da superfície ($15,9^{\circ}\text{C} < T < 17,5^{\circ}\text{C}$; $35 < S < 36$). À medida que a profundidade aumenta detectam-se diferentes tipos de massas de água características do Atlântico Norte (fig.IV-25B) :

- IV. a água central do Atlântico Norte com origem subtropical, modificada pela mistura com as águas estuarinas locais ($12,9 < T < 16,5^{\circ}\text{C}$; $35,7 < S < 36$), na plataforma média e externa;

V. contra-corrente da vertente continental que incorpora Água Central do Atlântico Sul, modificada devido à interacção com outras massas de água desde a contra-corrente Norte-equatorial (Barton, 1995).

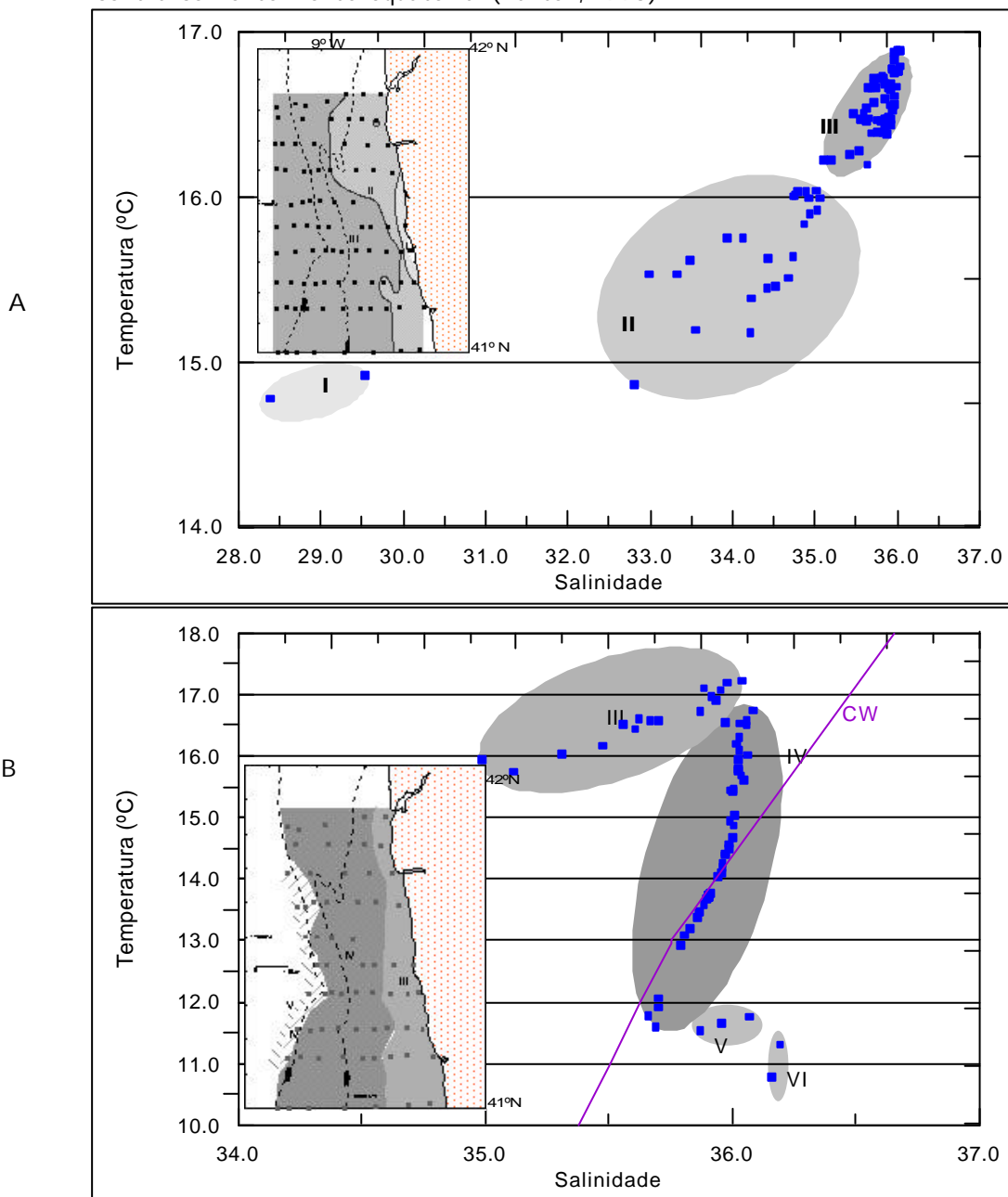


Fig. IV-25. Diagramas TS para as águas superficiais (5m) e perto do fundo, para o cruzeiro CLIMA 97. Na fig. B, encontra-se representada a linha de TS da água Central do Atlântico Norte (CW). I,II,III,IV,V e VI, designam as diferentes massas de água referidas no texto.

VI. Veia de Água do Mediterrâneo, com forte salinidade ($S > 36,3$) e temperatura relativamente elevada ($10,5^{\circ}\text{C} < T < 11,5^{\circ}\text{C}$), detectada no canhão do Porto, a profundidades entre os 400m-1500m.

1.3.5. Gradiente de salinidade à superfície

Como já foi referido, o cruzeiro teve início quando as condições climáticas eram mais rigorosas (ventos fortes de Sul), melhorando para o seu final (quatro últimas secções). O mapa de distribuição da salinidade à superfície mostra bem esta variação, já que representa não uma imagem instantânea mas sim um somatório das condições hidrológicas que ocorreram durante o período de 6 a 14 de Dezembro (fig. IV-26).

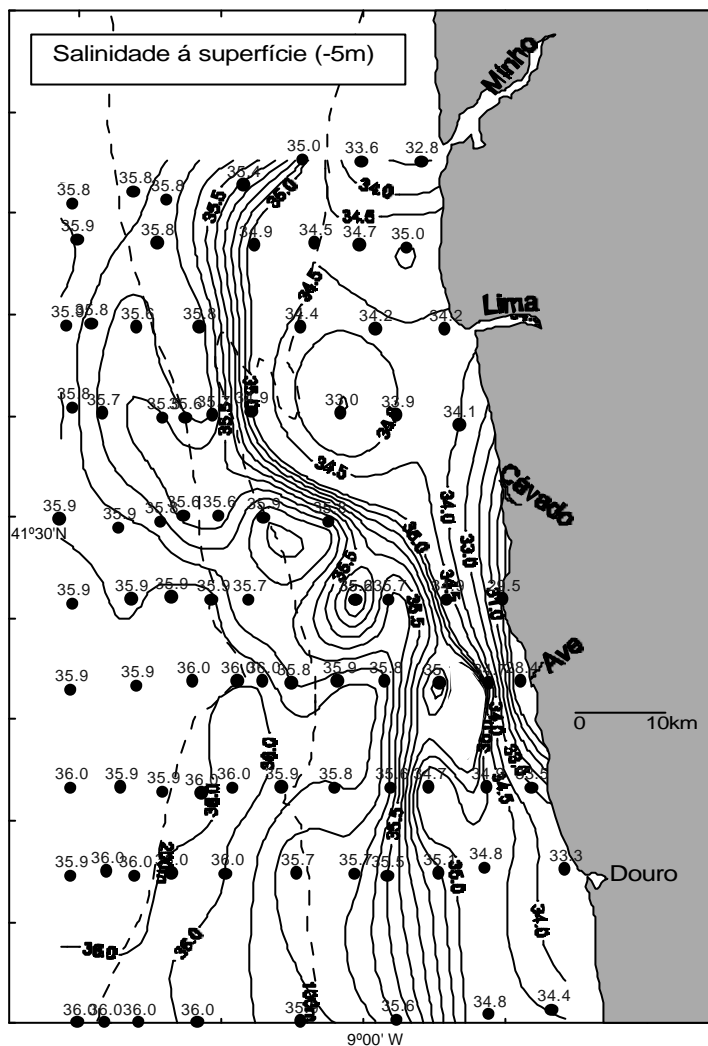


Figura IV-26. Distribuição da salinidade à superfície (Dezembro 1997).

No geral, a salinidade aumentava com o afastamento à costa. Contudo, a massa de água com características estuarinas ocorria apenas na plataforma interna a Sul do rio Cávado, expandindo-se para a plataforma média em frente ao rio Lima. Esta massa de água encontra-se separada da oceânica por uma frente salina muito bem marcada entre a isóbata dos 50 a 120m (35,0-35,7). De salientar que os valores mais baixos de salinidade foram registados, à semelhança do que sucedeu em cruzeiros anteriores, na desembocadura do rio Ave (período de baixa-mar).

1.3.6. Perfis E-W de salinidade

Durante o cruzeiro verificou-se forte débito fluvial, evidenciado pela presença constante de uma massa de água menos salina superficial ($S < 35,5$), que ocupava toda a coluna de água nas estações mais perto da costa (secções 1, 2, 4 e 5). Contudo, essas águas estuarinas encontravam-se muito restringidas à zona costeira no início do cruzeiro (fig. IV-27). A pluma salina do rio Douro não ultrapassava os 16 km de comprimento, com uma espessura média de cerca de 20m. A partir da secção 7, devido à modificação dos ventos dominantes (fig. IV-27) a massa de água costeira encontrava-se mais expandida sobre a plataforma, cobrindo-a quase na sua totalidade (aproximadamente 30 km de extensão).

1.3.7. Gradientes de temperatura de superfície

A estrutura térmica à superfície era complexa, apresentando valor de temperatura médio elevado, cerca de $16,0^{\circ}\text{C}$. Os valores mínimos encontravam-se associados com as desembocaduras dos rios (fig. IV-28).

Tal como para a salinidade, definia-se sobre a plataforma média uma frente térmica, limitada pelas isolinhas dos $16,0^{\circ}\text{C}$ e $16,5^{\circ}\text{C}$.

1.3.8. Perfis E-W de temperatura

Nas desembocaduras dos rios e na plataforma interna, a coluna de água apresentava-se estratificada. Esta estratificação atenuava-se à medida que nos afastávamos da costa (a camada de mistura podia atingir os 70m, ver fig. IV-29), estando a influência das águas estuarinas compreendida entre os 3 e 24 km, da costa. Uma massa de água quente ($T > 16^{\circ}\text{C}$) oceânica cobria o resto da plataforma e vertente continentais (fig. IV-30).

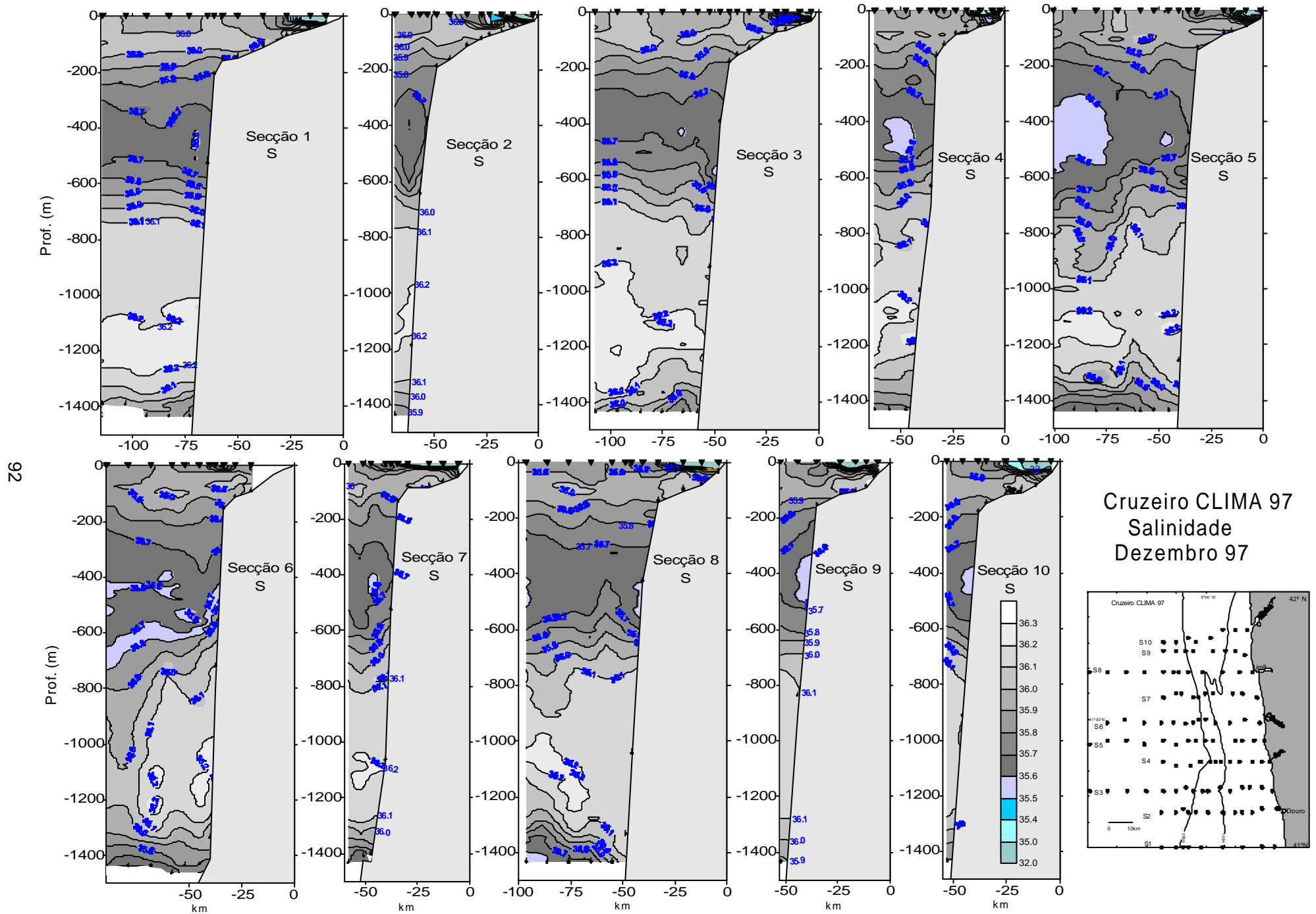


Figura V-27. Secções E-W de salinidade, realizadas durante o cruzeiro CLIMA97

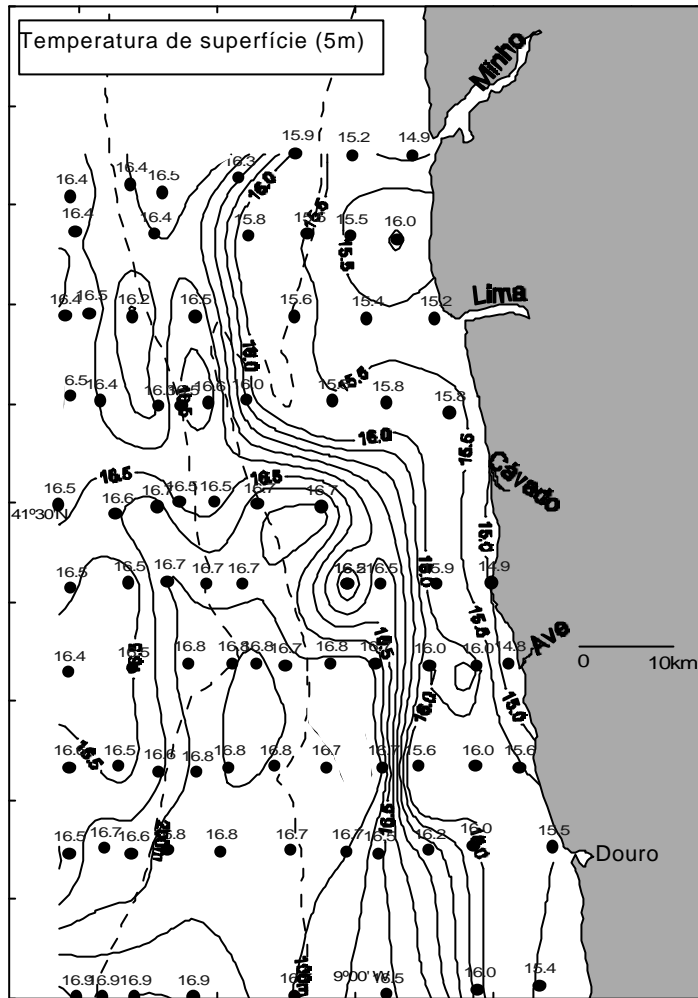


Figura IV-28. Distribuição da temperatura à superfície (Dezembro 1997).

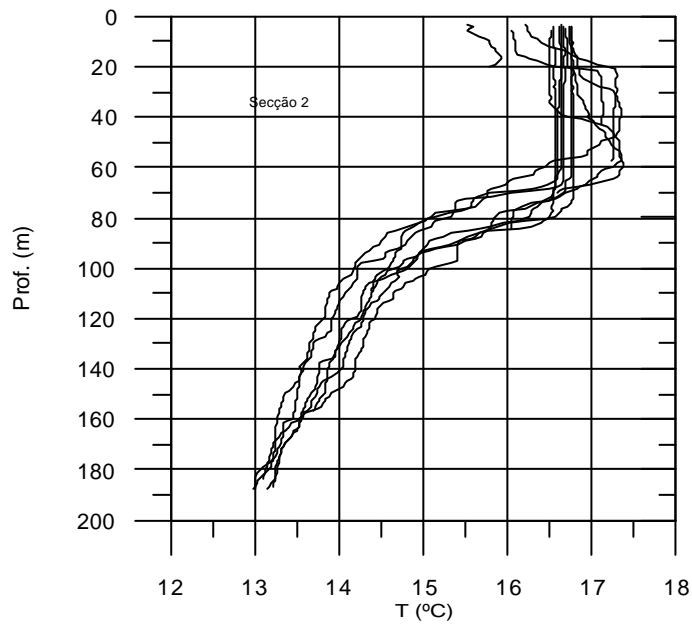


Figura IV-29. Perfis verticais de temperatura para a secção 2.

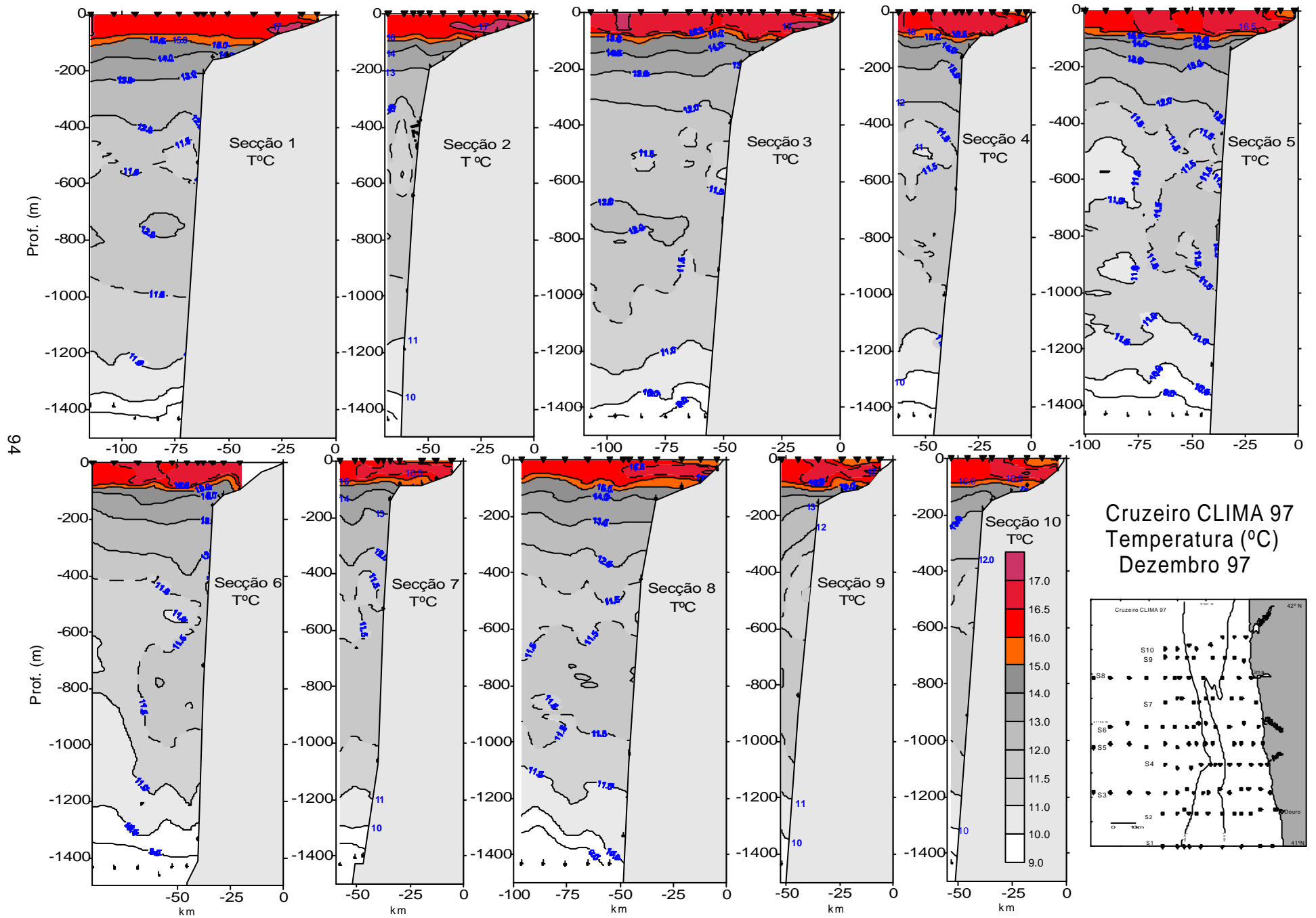


Figura V-30. Seções E-W de temperatura, realizadas durante o cruzeiro CLIMA 97

1.3.9. Gradiente de densidade de superfície

A carta de distribuição da densidade da água à superfície (fig. IV-31) mostra que, de um modo geral, existia um gradiente E-W, crescente da desembocadura dos rios ($d < 21,0$) para o largo ($d > 26,3$). Os valores mínimos de densidade encontravam-se associados com a desembocadura do rio Ave.

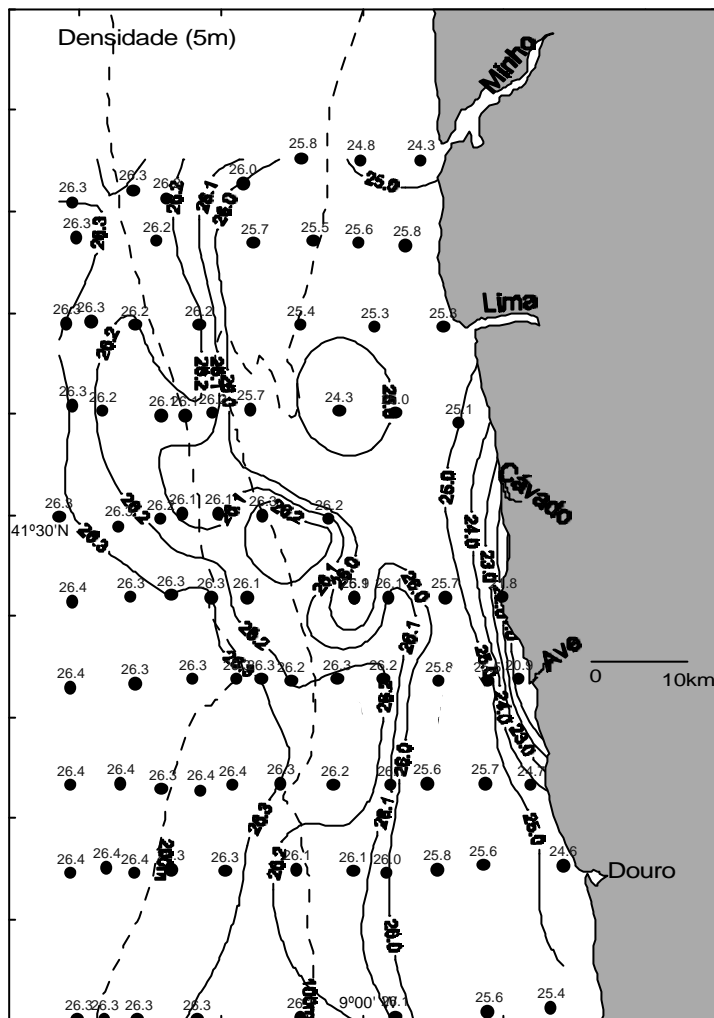


Figura IV-31. Distribuição da densidade à superfície (Dezembro de 1997).

1.3.10. Perfis E-W de densidade

As secções de densidade revelam uma coluna de água verticalmente homogénea com excepção da área costeira onde a água trazida pelos rios causa estratificação local. A camada de mistura tem cerca de 80-100m, com uma pycnoclina que intersecta o fundo na plataforma média a externa (fig. IV-32). Nos perfis realizados mais a norte (secções 7 a 9), as águas estuarinas abrangem uma área maior, resultando numa maior estratificação da coluna de água da plataforma.

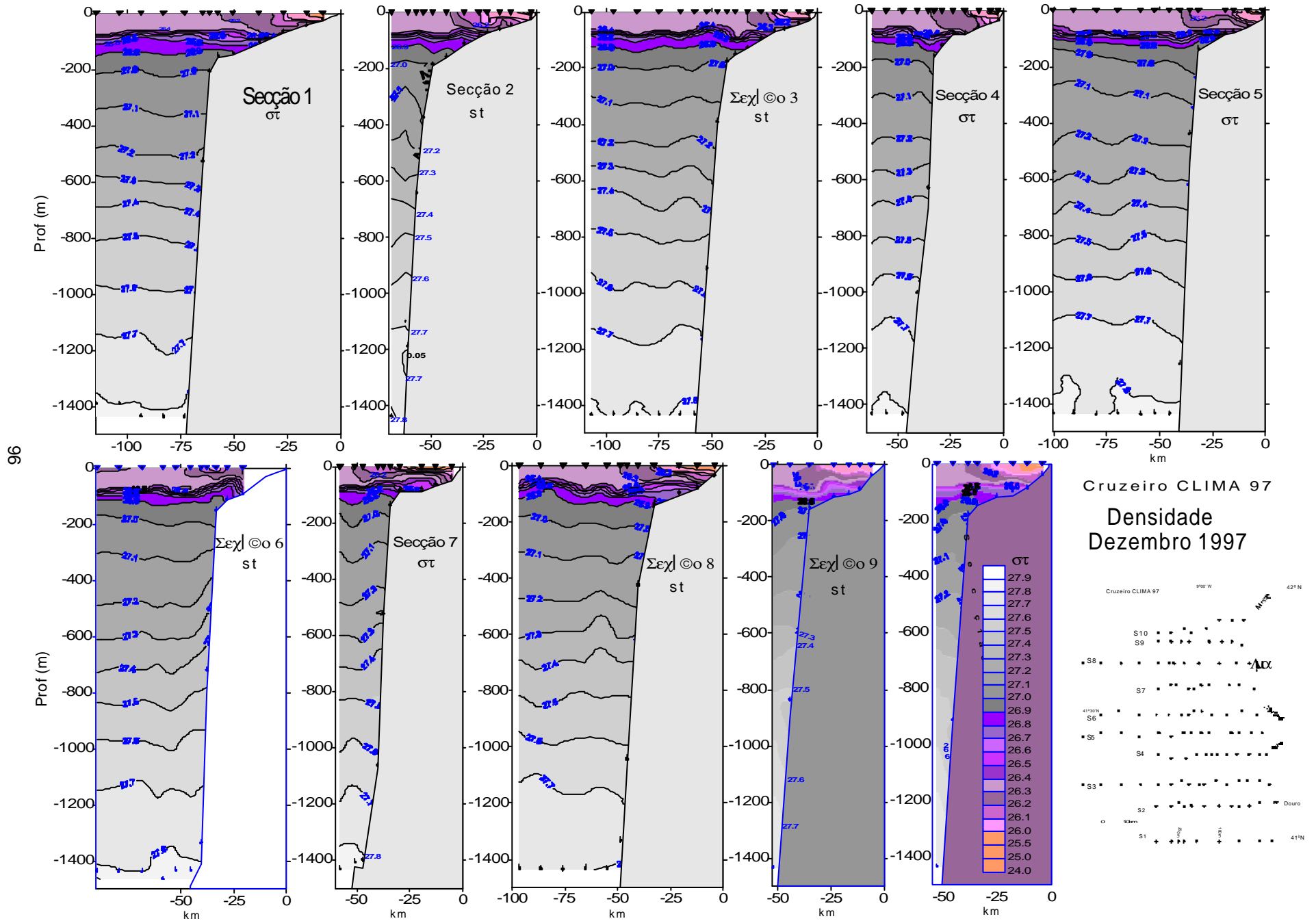


Figura V-32. Seções E-W de densidade, realizadas durante o cruzeiro CLIMA97

1.3.11. Gradiente de turbidez de superfície e de fundo

A turbidez à superfície era baixa, variando entre 2,35 e 0,05 FTU, com valor médio de 0,26 FTU. O mapa de distribuição da turbidez à superfície (fig.IV-33) mostra uma diminuição gradual, para o largo. Contudo, na vertente continental, registaram-se pontualmente alguns valores de turbidez mais elevados. Tal como para os parâmetros anteriores, no final do cruzeiro ocorre um afastamento das isolinhas para oeste que acompanha a frente salina e térmica, o que é reflectido no mapa da Fig. IV-33 pelo afastamento das isolinhas dos 0.2-0.1 FTU.

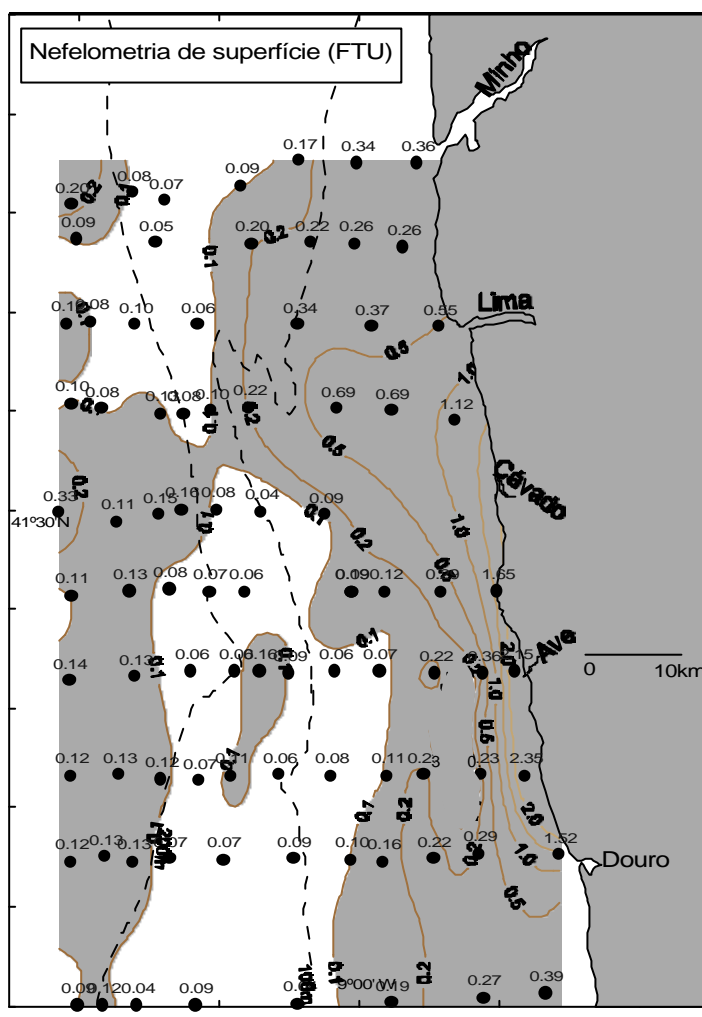


Figura IV-33. Distribuição da turbidez à superfície (Dezembro de 1997).

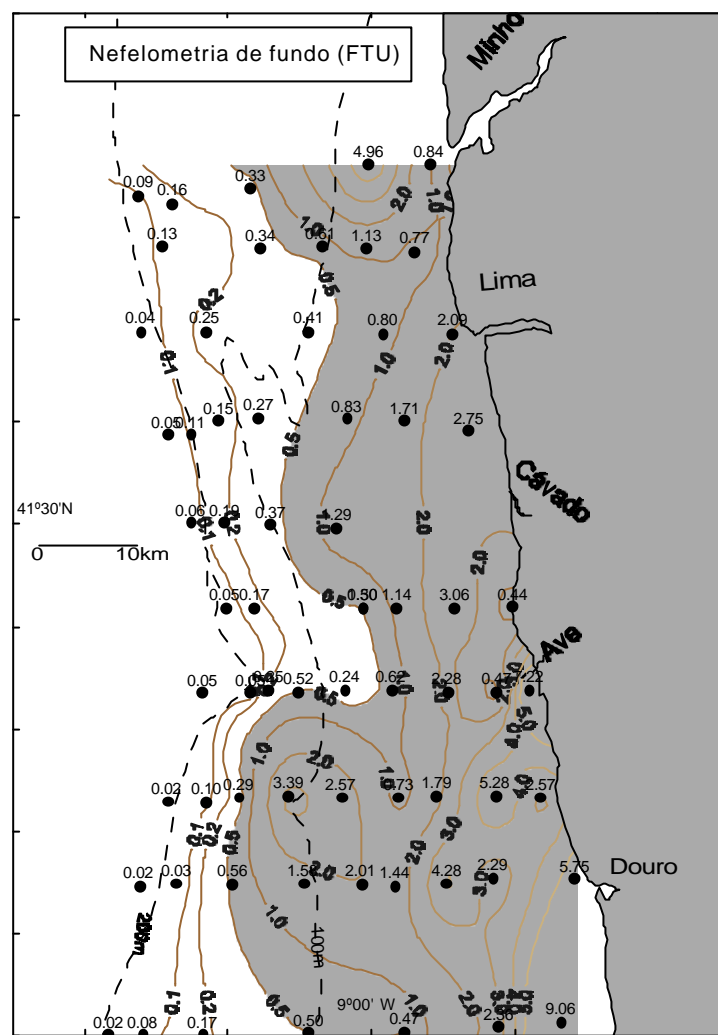


Figura IV-34. Distribuição da turbidez perto do fundo (Dezembro de 1997).

A distribuição da nefelometria junto ao fundo (fig. IV-34) mostra uma diminuição geral da turbidez com a profundidade, variando de 9,06 a 0,02 FTU, com valor médio de 1,4 FTU. Os valores de turbidez mais elevados (3,39 e 4,96 FTU), detectados na plataforma externa ($\approx 100\text{m}$) têm, provavelmente, relação com a resuspensão de material fino dos depósitos silto-argilosos do Douro e do Minho, respectivamente.

1.3.12. Perfis E-W de turbidez

Os perfis E-W (fig. IV-35) confirmam os fortes valores de turbidez ao longo da coluna de água. Verifica-se uma evolução nas CNF e CNS desde a secção 1 (a sul do Douro) até à secção 10 (rio Minho). Assim, na secção 1, sobre a plataforma continental, formou-se uma CNF com cerca de 60 km de largura, bem marcada e mais extensa que a CNS, que se

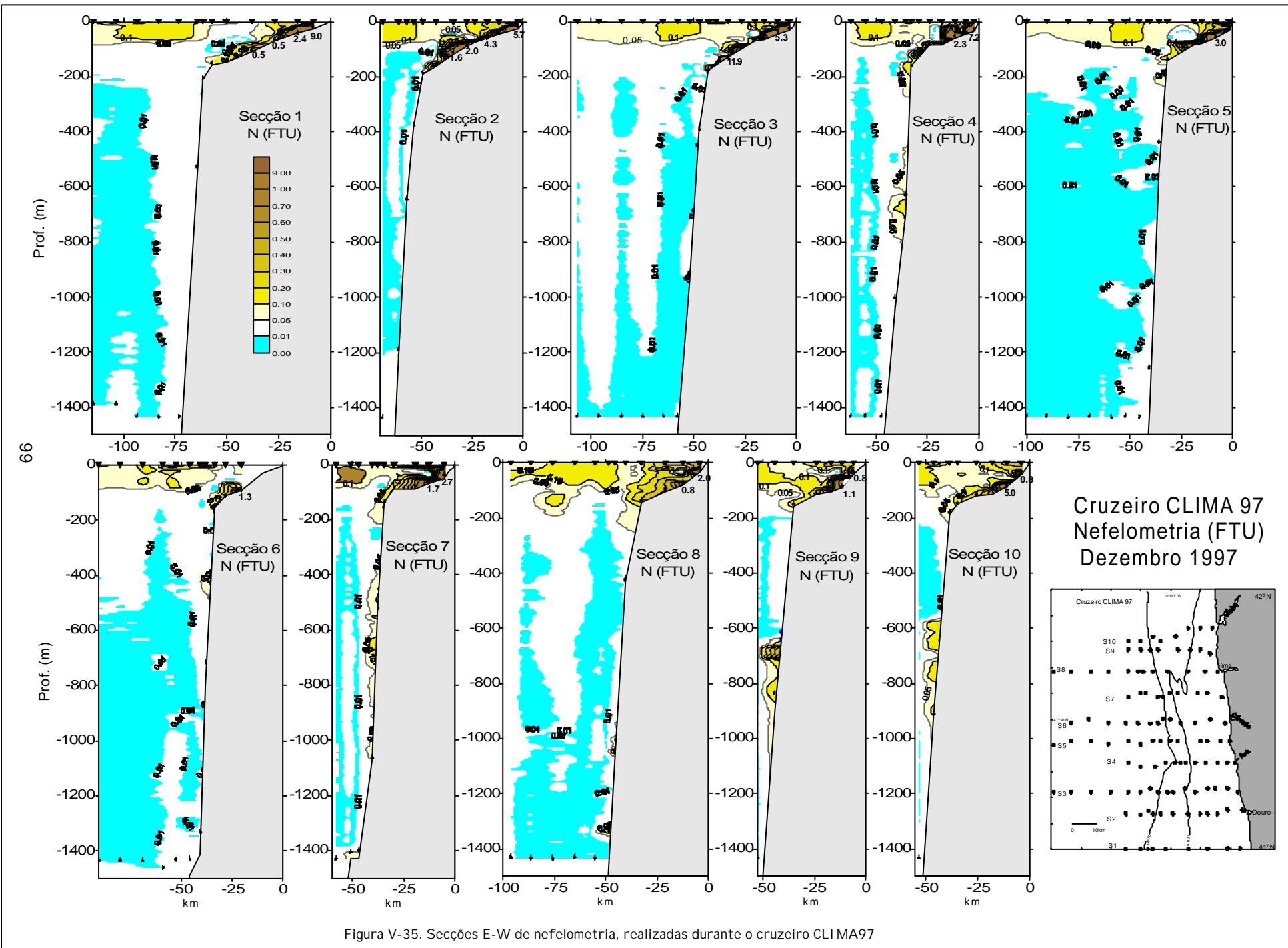


Figura V-35. Seções E-W de nefelometria, realizadas durante o cruzeiro CLIMA97

encontrava muito mal definida devido à grande homogeneização da coluna de água. Aos 50 km da costa, desenvolvia-se uma CNS (Turb.>0,1 FTU) separada do bordo da plataforma, que atingia os 70m de profundidade e se desenvolvia até aos 114 km da costa.

Na secção 2, a CNF ocupava toda a plataforma continental, com empolamentos locais sobre a plataforma média. A 3km da costa individualizava-se a pluma turbida superficial do Douro, separada da CNF por águas menos turbidas. Esta CNS expandia-se até aos 27 km, estando separada por águas mais límpidas da plataforma média, voltando a aparecer no bordo da plataforma (a cerca de 53 km da costa). Na secção 3, ainda se individualizava a pluma turbida superficial do Douro muito limitada aos primeiros metros da coluna de água e com uma extensão de cerca de 20 km. No bordo da plataforma (47 km da costa), ocorriam novamente valores superiores a 0,1 FTU. A CNF é muito mais importante que a CNS, tanto em extensão como em comprimento, verificando-se novamente empolamentos sobre a plataforma média, com valores de turbidez muito fortes (Turb.=11,9 FTU), relacionados com o depósito silto-argiloso do Douro (fig. IV-36).

Junto à costa, na secção 4, a coluna de água encontrava-se muito homogeneizada, com valores de turbidez elevados. Na plataforma média, a CNF apresentava grande desenvolvimento vertical. A presença de uma massa de água mais límpida impedia a sua expansão, ficando novamente limitada ao fundo (últimos metros da coluna de água). No bordo da plataforma e vertente desenvolviam-se CNI (fig. IV-36).

Na secção 5, esta massa de água mais límpida também se encontrava sobre a plataforma média, separando as águas costeiras, mais turbidas, das do largo e impedindo a expansão vertical da CNF. A CNF estendia-se até ao bordo da plataforma dando, aí, origem a uma CNI. Na secção 7, era evidente a presença de duas camadas nefelóides de superfície e fundo na plataforma, separadas por uma massa de água menos turbida, expandindo-se ambas até ao bordo da plataforma. Na secção 8, a coluna de água encontrava-se novamente mais homogeneizada, com valores altos de turbidez, até ao bordo da plataforma onde se definem CNI. Na secção 9, é ainda possível distinguir a CNF e a de CNS, sendo a CNF a mais importante. Nesta secção é possível constatar que a resuspensão sobre a plataforma média a externa originava empolamentos da CNF, os quais podem ser de tal modo importantes que formam CNI que se expandem e podem atingir a superfície. Esta secção fornece uma possível explicação para os valores de turbidez mais elevados que se registaram após o bordo da plataforma. Na secção 10, o valor mais elevado de turbidez registava-se sobre a

plataforma média (Turb.=5,0 FTU), em relação com o depósito silto-argiloso da Galiza-Minho. A pluma túrbida do rio Minho detectava-se até aos 25 km da costa.

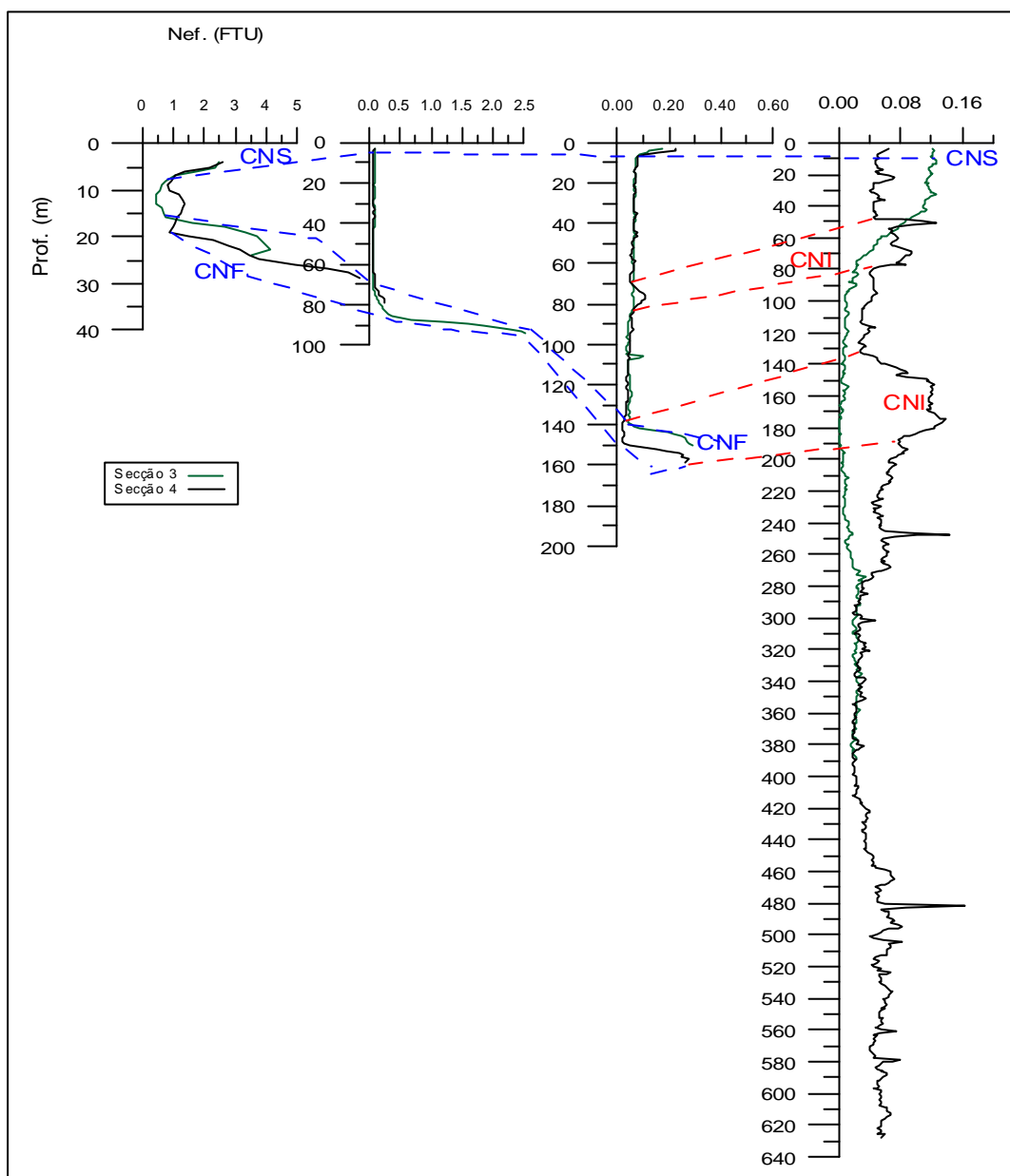


Figura IV-36. Perfis verticais de nefelometria para as secções 3 e 4 (canhão do Porto). Delimitação das CNS, CNF e CNI.

1.3.13. Interpretação das condições hidrológicas e de circulação:

O cruzeiro CLIMA 97 decorreu em condições de Inverno típico, com caudal fluvial elevado (caudal médio do Douro, 1073 m³/s). Os dois meses que antecederam a sua realização foram particularmente húmidos nesta região, com o resultante acréscimo de MPS expulsa pelos estuários. No início do cruzeiro, a isolinha dos 35,5 (salinidade) encontrava-se perto do litoral, com a massa de água oceânica a ocupar praticamente toda a plataforma, expandindo-se para o

largo (≈ 20 km) nas secções realizadas mais a norte (rios Lima e Minho). Esta modificação deveu-se essencialmente à alteração da direcção dos ventos dominantes que rodaram de S-SW para N-NE. A nefelometria apresentava o mesmo comportamento. Contudo, o valor mais elevado de turbidez (2,35 FTU) foi registado à superfície, na plataforma interna a norte do rio Douro.

A coluna de água apresentava uma estrutura térmica vertical homogénea, com excepção da zona costeira, toda ela perturbada pelos fluxos de água estuarina e onde os aportes de água menos salina induziram estratificação vertical.

O gradiente termo-halino crescente entre a costa e o largo encontrava-se mais bem marcado em termos de salinidade do que de temperatura, visto que as águas costeiras apresentavam temperaturas ligeiramente inferiores a 15°C e as águas oceânicas temperaturas superiores a 16°C. As secções de densidade revelam uma camada de mistura de 80-100m com a pycnoclina a intersectar o fundo na plataforma média a externa.

Neste período, os caudais elevados dos rios induziram algum transporte de MPS terrígena para a plataforma, o qual foi registado pelo nefelómetro. Contudo, os valores de turbidez nunca foram muito elevados, pelo menos à superfície, decrescendo rapidamente para o largo. Já na proximidade do fundo os valores de turbidez eram francamente mais importantes, com máximos localizados na desembocadura dos rios Douro e Ave e sobre os depósitos silto-argilosos do Douro e do Minho-Galiza. Os valores mais elevados de turbidez sobre os depósitos finos da plataforma assinalam a provável resuspensão de partículas sedimentares.